



## FABRIKASI PADUAN Fe-Al DARI SAMPAH LOGAM HOME-INDUSTRI-LOKAL

Sulanjari<sup>1</sup>, Didik Aryanto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Pamulang, Fakultas Teknik – Prodi Teknik Mesin, Tangerang Selatan, Banten

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Kawasan Puspiptek Gd 440-442, Serpong, Tangerang Selatan, Banten

\*e-mail: dosen01182@unpam.ac.id

Masuk : 29 Januari 2020

Direvisi : 5 Maret 2020

Disetujui : 25 Maret 2020

**Abstrak:** Paduan Fe-Al merupakan senyawa intermetalik yang menarik untuk dipelajari. Hal tersebut karena dapat diaplikasikan sebagai struktur tahan korosi pada suhu tinggi. Daur ulang scrap Fe dan Al secara langsung untuk menjadi paduan Fe-Al memiliki keuntungan diantaranya murah dan dapat menggunakan bahan lokal. Pada penelitian ini telah dilakukan fabrikasi paduan Fe-Al dengan menggunakan material daur ulang scrap Fe dan Al. Scrap Fe dan Al dibersihkan dengan standar pembersihan dan dikeringkan dalam vakum oven. Scrap Fe dan Al dicampur dan dimilling dengan komposisi yang berbeda yaitu, 50%Fe-50%Al, 75%Fe-25%Al, 87,5%Fe-12,5%Al. Campuran serbuk Fe-Al dikompaksi dalam bentuk pelet dan di sinter pada suhu 500°C selama 1 jam didalam tungku pemanas vakum dengan tekanan vakum 32 mbar. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa puncak difraksi memiliki kesesuaian dengan puncak difraksi unsur murni besi (Fe) dan aluminium (Al). Selain itu, reaksi Fe-Al, Fe-O dan Al-O juga terjadi. Hal itu ditandai dengan munculnya beberapa puncak kecil yang menunjukkan fasa  $Al_{13}Fe_4$ ,  $Fe_3Al$ ,  $FeAl_2$ ,  $Al_2O_3$  dan  $Fe_2O_3$ . Hasil karakterisasi morfologi menunjukkan bahwa semua sampel paduan Fe-Al masih tersusun oleh unsur Fe (abu-abu terang) dan Al (gelap). Hasil morfologi permukaan sampel paduan Fe-Al menguatkan hasil XRD. Nilai kekerasan berubah dengan perubahan komposisi Fe dan Al. Nilai kekerasan yang diperoleh dalam rentang 52,94 HV – 94,81 HV (pengukuran) dan 56,88 HV – 95,45 HV (perhitungan). Hasil pengukuran dan perhitungan nilai kekerasan menguatkan dari data XRD dan morfologi dari sampel paduan Fe-Al. Paduan Fe-Al yang disintering dengan suhu 500°C belum terbentuk intermetalik Fe-Al.

**Kata kunci:** Fabrikasi, Milling, Intermetalik Fe-Al, XRD, Nilai Kekerasan.

**Abstract:** A Fe-Al alloys are the interesting intermetallic compounds to be studied. This is because it can be applied as a corrosion resistant structure at high temperatures. The scraps of Fe and Al can be recycled directly to be Fe-Al alloys which has some advantage such as cheap and can use the local materials. In this research, the fabrication of Fe-Al alloys has been done by using the recycled materials of Fe and Al scraps. The Fe and Al scraps were cleaned with a cleaning standard and dried in a vacuum oven. Then, this scraps were mixed and milled with different compositions 50%Fe-50%Al, 75%Fe-25%Al, 87,5%Fe-12,5%Al. The powder mixture of Fe-Al was compacted to be formed like a pellets and sintered at 500 °C for 1 hours in vacuum heating furnace at 32 mbar. The results of XRD analysis showed that the diffraction peak has compatibility with the peak of pure element diffraction of iron (Fe) and aluminium (Al). In addition, it was also occurred in Fe-Al, Fe-O and Al-O reactions. The reactions was indicated by the appearance of several small peaks which showed  $Al_{13}Fe_4$ ,  $Fe_3Al$ ,  $FeAl_2$ ,  $Al_2O_3$  and  $Fe_2O_3$  phase. The result of morphological characterization showed that all samples of Fe-Al alloys are still composed by Fe (light gray) and Al (dark). The surface morphology of Fe-Al alloy samples corroborated the XRD results. The hardness values changed with the modifying of Fe and Al composition. It was obtained in the range 52,94 HV - 94,81 HV (result of measurement in research) and 56,88 HV - 95,45 HV (calculation in theory). The results of measurement and calculation of hardness values corroborated the XRD and morphology data from Fe-Al alloy samples. When Fe-Al alloys sintered at 500 °C, there was not formed Fe-Al intermetallic

**Keyword:** Fabrication, Milling, Fe-Al intermetallic, XRD, Hardness value.

### PENDAHULUAN

Paduan berbasis pada senyawa intermetallic Fe-Al telah banyak dipelajari dalam beberapa dekade terakhir ini. Hal tersebut dikarenakan sistem Fe-Al menjanjikan sebagai material untuk aplikasi struktur suhu tinggi (Bernstock-

Kopaczyńska *et al.*, 2008). membentuk lapisan penghalang  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Mhadhbi *et al.*, 2013). Selain itu, sifat paduan Fe-Al seperti Paduan Fe-Al menunjukkan ketahanan korosi dan oksidasi yang baik (Mignone *et al.*, 1998), dimana kemungkinan besar kerapatan yang rendah ( $5.56 \text{ g/cm}^3$ ), suhu leleh yang tinggi, kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap keretakan yang baik membuatnya prospek untuk diaplikasikan di industri sebagai komponen mesin yang bekerja pada suhu tinggi dan lingkungan korosi (Mhadhbi *et al.*, 2013; D'Angelo *et al.*, 2009). Biaya material yang murah juga menjadi tambahan keuntungan dari produksi paduan Fe-Al (Kant *et al.*, 2015).

Sebagian besar skrap aluminium didaur ulang dengan cara konvensional, yaitu dimelting di dalam tungku untuk dijadikan ingot atau produk *die casting*. Logam aluminium yang dihasilkan dari metode tersebut sangat rendah, sekitar 55% (Lazzaro and Atzori, 1992). Ingot yang dihasilkan juga mengalami penurunan sifat mekanik (Chiba and Yoshimura, 2015). Pada proses peleburan ulang membutuhkan energi dalam jumlah besar, dimana tergantung pada kondisi skrap aluminium, fasilitas produksi dan prosesnya (Chiba and Yoshimura, 2015; Antolak-Dudka *et al.*, 2016; Shamsudin *et al.*, 2016). Keterbatasan tersebut mendorong pemanfaatan *solid state* atau *direct recycling* dari aluminium. Hal tersebut dapat mengurangi dana untuk perlindungan lingkungan dan konsumsi energi yang lebih baik dari daur ulang konvensional.

Fabrikasi paduan  $\text{Ni}_3\text{Al}$  dengan memanfaatkan skrap aluminium dengan *solid state* atau *direct recycling* telah dilakukan oleh Antolak-Dudka *et al.* (2016). Sintesis paduan  $\text{Ni}_3\text{Al}$  dilakukan dengan menggunakan metode *mechanical alloying* (MA) atau paduan mekanik dan penggabungan. Hasil penelitiannya diperoleh *solid solution*  $\text{Ni}(\text{Al}, \text{Si})$  setelah proses milling/penggilingan dengan MA. Senyawa intermetalik paduan  $\text{Ni}_3\text{Al}$  terbentuk ketika serbuk *solid solution*  $\text{Ni}(\text{Al}, \text{Si})$  di kompaksi dengan tekanan 7.7 Gpa selama 3 menit dengan pemanasan  $1000^\circ\text{C}$ . Hasil penelitian Antolak-Dudka *et al.* (2016) menunjukkan bahwa skrap aluminium dapat dimanfaatkan secara langsung dalam fabrikasi paduan intermetalik. Pekerjaan sebelumnya juga dilaporkan fabrikasi paduan dengan memanfaatkan skrap logam sisa industri, seperti paduan magnesium AZ91D (Dong-hua *et al.*, 2011), dan  $\text{AlSi10Mg}_200\text{C}$  (Asgari *et al.*, 2017). Namun sedikit yang mempelajari fabrikasi paduan intermetalik Fe-Al dengan material awal skrap logam sisa industri. Pada penelitian ini akan dilakukan fabrikasi paduan intermetalik Fe-Al dari skrap logam Al dan sampah gergaji Fe dari sisa *home*-industri.

## METODOLOGI

Paduan Fe-Al dibuat dari skrap aluminium (Al) dan besi (Fe) dari limbah *home industri*. Bahan baku Al murni dari Al scrap, sedangkan Fe dari gergaji low carbon steel. Pada penelitian ini dilakukan adalah fabrikasi paduan Fe-Al dengan komposisi yang berbeda. Detail komposisi sampel dapat dilihat pada Tabel 1, dengan diasumsikan bahwa bahan dasar terdiri dari Al dan Fe, sedangkan unsur pengotor tidak diperhatikan.

Tabel 1. Komposisi paduan Fe-Al

Nama Sampel	Komposisi (at.%)	
	Aluminium (Al)	Besi (Fe)
50Fe-50Al	50	50
75Fe-25Al	75	25
87,5Fe-12,5Al	87,5	12,5

Pada tahap awal, bahan dasar Fe dan Al dengan komposisi yang telah ditentukan dicampur kedalam wadah/vial stainless steel untuk dimilling dan mixing. Alat yang digunakan untuk mill adalah shaker mill dengan frekuensi isolasi 700/menit. Hal itu bertujuan untuk menjadikan serbuk. Serbuk campuran Fe dan Al selanjutnya dikompaksi dalam suhu ruang dengan tekanan 7 ton menggunakan hidrolik press. Sampel hasil kompaksi berbentuk pelet dengan diameter 1 cm dan tebal 0,3 cm. Kemudian sampel pelet diberikan perlakuan panas (sintering) dengan suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 1 jam didalam tungku pemanas vakum dengan tekanan vakum 32 mbar. Sampel didinginkan dengan pelan didalam tungku pemanas vakum untuk menghindari terjadinya oksidasi dan internal *stress*.

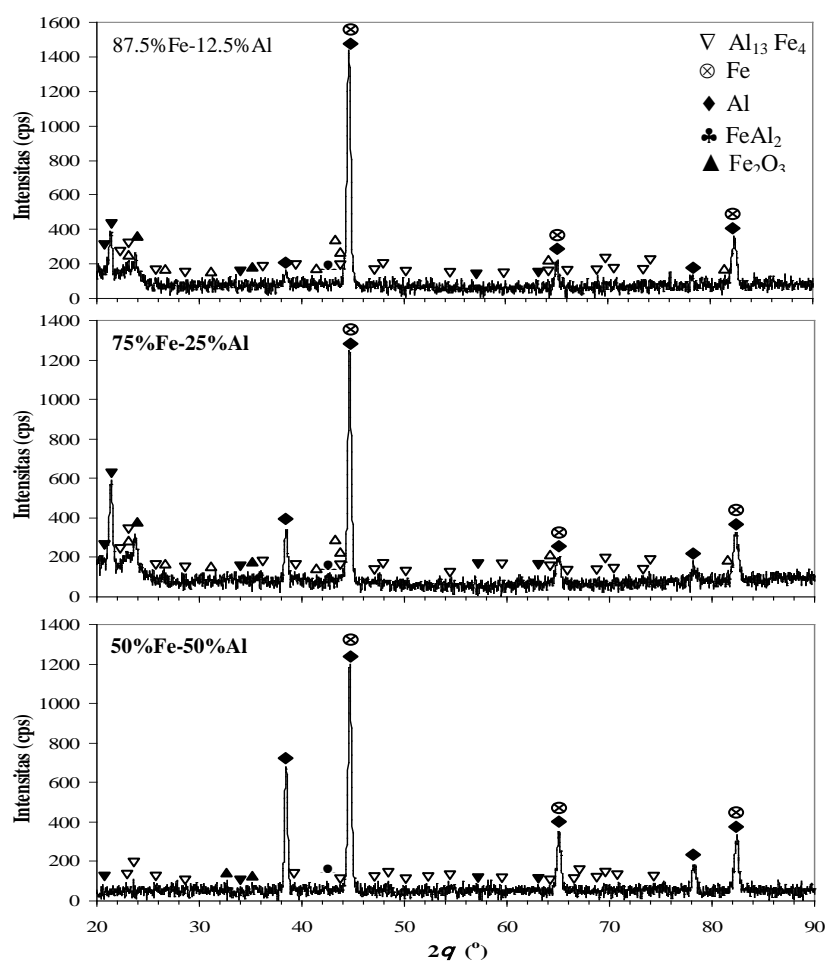
Sampel paduan Fe-Al yang telah difabrikasi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD, mikroskop optik dan vickers hardness. XRD digunakan untuk mengetahui struktur dari sampel. Terbentuknya paduan intermetalik Fe-Al dapat diidentifikasi dari data XRD. Selain itu, dari puncak XRD dapat digunakan untuk menentukan parameter struktur dari sampel. Morfologi permukaan dari paduan Fe-Al diketahui dengan menggunakan mikroskop optik. Sedangkan kekerasan dari sampel paduan Fe-Al dievaluasi dengan *mikro-hardness* tester.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola difraksi sinar-x dari sampel paduan Fe-Al dengan variasi komposisi yang diberi perlakuan panas pada suhu 500°C ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat pada gambar, puncak difraksi memiliki kesesuaian dengan puncak difraksi unsur murni besi (Fe) dan aluminium (Al). Pada puncak tertinggi ada 2 fasa, ini menunjukkan bahwa Fe-Al belum menyatu semua artinya masih ada unsur Fe dan Al yang berdiri sendiri. Namun, ada beberapa puncak kecil yang menunjukkan adanya reaksi Fe-Al, Fe-O dan Al-O, dimana didominasi oleh fasa metastabil  $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ . Kehadiran puncak difraksi XRD yang menunjukkan terjadinya reaksi antara Fe-Al, Fe-O dan Al-O lebih jelas teramati pada sampel paduan Fe-Al dengan komposisi 75%Fe-25Al dan 87,5%Fe-12,5%Al. Pada penelitian ini, perlakuan panas dengan suhu 500°C (mendekati reaksi *precombustion* (para-pembakaran)) belum menunjukkan terjadinya reaksi antara Fe-Al dengan sempurna. Perubahan struktur mikro dari paduan Fe-Al yang diberi perlakuan panas dengan variasi komposisi ditunjukkan pada Tabel 2. Perbedaan komposisinya menyebabkan regangan mikro dan ukuran kristalit yang bervariasi. Untuk menentukan ukuran kristal menggunakan persamaan scherrer sedangkan regangan kristal menggunakan persamaan tangen. Berkurangnya komposisi Al menyebabkan berkurangnya ukuran kristalit, dimana ukuran kristalit untuk sampel 50Fe-50Al, 75Fe-25Al dan 87,5Fe-12,5Al secara berurutan sekitar 26,2 nm, 23,7 nm dan 21,3 nm. Hal tersebut dikarenakan nilai jari-jari atom Fe (0.123 nm) yang lebih kecil dibanding Al (0.143 nm). Akibat dari berkurangnya jumlah atom Al dalam paduan Fe-Al akan berakibat pada penurunan ukuran kristalit. Pada Tabel 2 juga ditunjukkan bahwa regangan mikro paduan 50Fe-50Al lebih kecil jika dibandingkan dengan paduan 75Fe-25Al dan 87,5Fe-12,5Al. Hal ini mungkin dikarenakan terbentuknya intermetalik lain pada paduan Fe-Al seperti terlihat pada Gambar 2 (b dan c).

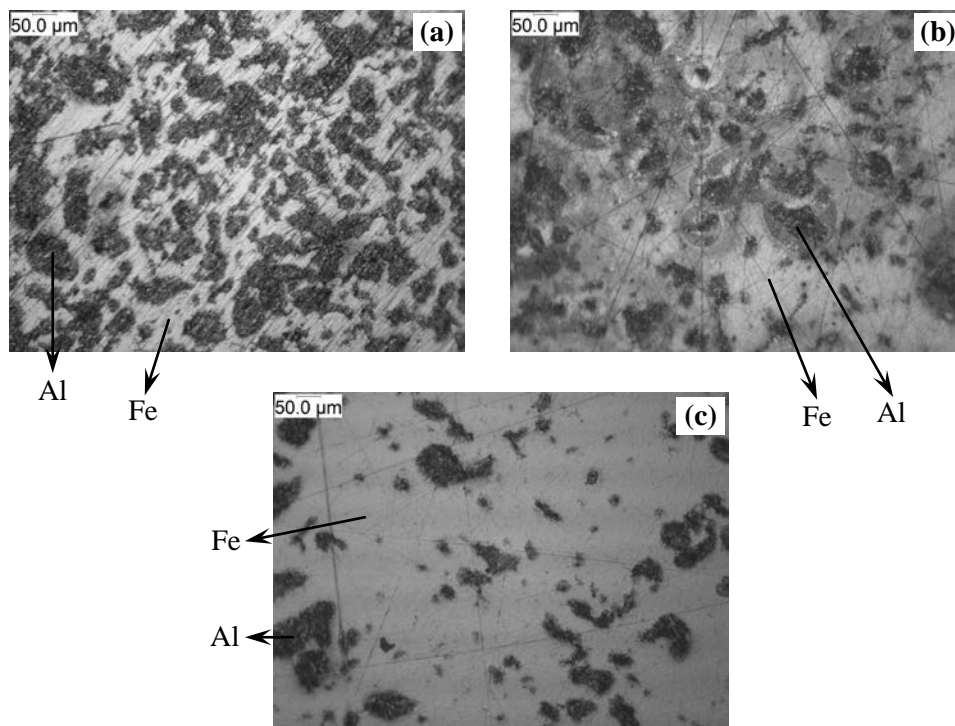
Tabel 2. Analisa struktur sampel 50Fe-50Al, 75Fe-25Al dan 87,5Fe-12,5Al

Metode analisis	Sampel		
	50Fe-50Al	75Fe-25Al	87.5Fe-12.5Al
XRD regangan-mikro (%)	0.277	0.309	0.290
XRD ukuran kristalit (nm)	26.2	23.7	21.3



Gambar 2. Pola difraksi XRD dari sampel Fe-Al dengan variasi komposisi setelah diberi perlakuan panas 500°C.

Gambar 3 menunjukkan morfologi permukaan dari sampel 50Fe-50Al, 75Fe-25Al, dan 87,5Fe-12,5Al. Pada sampel 50Fe-50Al (Gambar 3a) didominasi daerah abu-abu terang dan gelap, dimana menunjukkan unsur besi (abu-abu terang) dan aluminium (gelap). Hasil ini sesuai dengan gambar SEM yang dilaporkan oleh Canakci et al. (2013), daerah abu-abu terang dan gelap menunjukkan unsur Fe dan Al. Hasil surface morfologi sampel 50Fe-50Al menguatkan hasil XRD, dimana belum terjadi reaksi yang sempurna antara Fe dan Al membentuk intermetalik. Pada sampel 50Fe-50Al, senyawa intermetalik Fe-Al mungkin terbentuk pada daerah batas antara Fe dan Al. Hasil ini ditunjukkan dengan munculnya puncak-puncak kecil pada XRD yang menunjukkan puncak intermetalik  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ,  $\text{FeAl}_2$ , dan  $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ . Hasil morfologi permukaan dari sampel 75Fe-25Al (Gambar 3b), dan 87,5Fe-12,5Al (Gambar 3c) juga menunjukkan hasil yang sama dengan sampel 50Fe-50Al. Perbandingan daerah abu-abu terang dan gelap berubah dengan perubahan komposisi antara Fe dan Al. Ketika jumlah komposisi Fe meningkat, daerah abu-abu terang semakin luas (dapat dilihat pada Gambar b dan c). Namun, pada sampel 75Fe-25Al, terdapat daerah degradasi diantara daerah abu-abu terang dan gelap. Jika dikombinasikan dengan hasil XRD, daerah tersebut diyakini sebagai daerah intermetalik Fe-Al, oksida-Fe dan oksida-Al.

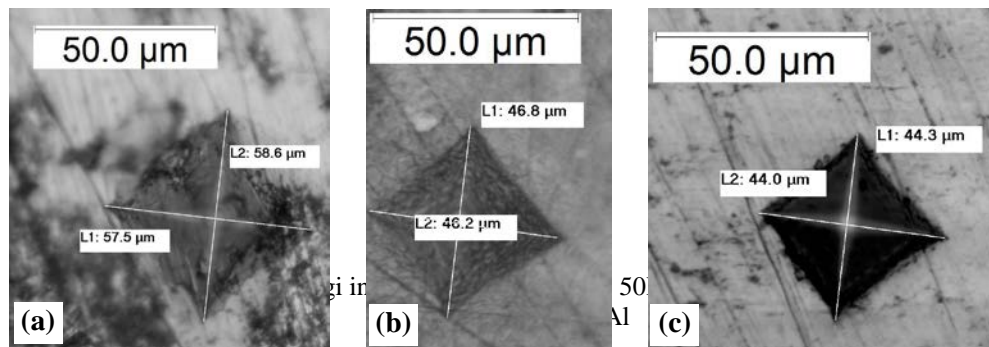


Gambar 3. Morfologi permukaan sampel (a) 50Fe-50Al, (b) 75Fe-25Al, dan (c) 87,5Fe-12,5Al

Kekerasan merupakan faktor penting untuk mempengaruhi ketahanan aus material, yang mencerminkan kemampuan untuk menahan sisa ketahanan deformasi dan kehancuran. Ini juga merupakan indikator komprehensif dari resistensi deformasi elastis, deformasi plastik, kekuatan tarik, kekuatan kelelahan dan ketahanan aus (Yang et al., 2015). Gambar 4 menunjukkan morfologi indentasi dari sampel 50Fe-50Al, 75Fe-25Al dan 87,5Fe-12,5Al. Semakin tinggi kekerasan, semakin kecil indentasi belah ketupat. Nilai kekerasan dari pengukuran dan perhitungan untuk sampel 50Fe-50Al, 75Fe-25Al dan 87,5Fe-12,5Al ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil perhitungan nilai kekerasan ditentukan dengan persamaan (Tim Future-Tech Corp., 2011)

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 1.854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Dimana,  $HV$ ,  $F$ ,  $S$ ,  $d$  dan  $\theta$  secara berurutan adalah vickers hardness, beban uji (Gaya tekan), luas permukaan indentasi, rata-rata panjang diagonal indentasi, dan sudut muka dari indenter piramida berlian.



Tabel 4. Nilai kekerasan sampel sampel 50Fe-50Al, 75Fe-25Al, dan 87,5Fe-12,5Al

Sampel	Kekerasan (HV)	
	Pengukuran	Perhitungan
50Fe-50Al	$52,94 \pm 6,39$	$56,88 \pm 11,12$
75Fe-25Al	$82,60 \pm 13,95$	$87,86 \pm 15,92$
87,5Fe-12,5Al	$94,81 \pm 12,17$	$95,45 \pm 10,33$

Nilai kekerasan sampel 50Fe-50Al dari pengukuran dan perhitungan diperoleh sekitar 52,94 HV dan 56,88 HV. Sedangkan nilai kekerasan sampel 75Fe-25Al sekitar 82,60 HV (pengukuran) dan 87,86 HV (perhitungan). Sampel 87,5Fe-12,5Al memiliki nilai kekerasan dari pengukuran dan perhitungan sekitar 94,81 HV dan 95,45 HV. Hasil pengukuran dan perhitungan nilai kekerasan sampel paduan Fe-Al tidak menunjukkan selisih yang sangat signifikan. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perhitungan memperkuat nilai kekerasan dari hasil pengukuran. Nilai kekerasan yang diperoleh dalam penelitian ini lebih besar jika yang dibandingkan dengan nilai kekerasan Al (47,772 HV) (Sugara dkk., 2017) namun lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai kekerasan besi (222 HV/19,2 HRC) (Handoyo, 2015). Hasil pengukuran dan perhitungan nilai kekerasan menguatkan dari data XRD dan morfologi dari sampel paduan Fe-Al, dimana dalam proses pemanasan dengan suhu 500°C belum terjadi reaksi yang sempurna antara Fe-Al untuk membentuk intermetalik Fe-Al.

## KESIMPULAN

Telah dilakukan fabrikasi paduan Fe-Al dengan bahan dasar scrap Al dan limbah Fe dengan menggunakan pemaduan mekanik dan kompaksi pada suhu ruang. Sampel pelet paduan Fe-Al dengan variasi komposisi disintering dengan suhu 500°C dan hasilnya menunjukkan terjadinya pemampatan. Hasil XRD pada semua sampel paduan Fe-Al menunjukkan bahwa unsur Al dan Fe belum bereaksi sempurna membentuk paduan intermetalik Fe-Al. Pola XRD menunjukkan puncak Fe dan Al serta puncak-puncak kecil intermetalik Fe-Al. Morfologi permukaan hasil mikroskop optik dari semua sampel menunjukkan daerah abu-abu terang dan gelap yang menunjukkan unsur Fe dan Al. Daerah gelap yang menunjukkan unsur Al berkurang dengan bertambahnya komposisi Fe dalam sampel paduan Fe-Al. Hasil pengukuran kekerasan diperoleh nilai tidak jauh dari nilai kekerasan Al yang berarti bahwa pada penelitian ini belum terbentuk sempurna intermetalik Fe-Al pada fabrikasi paduan Fe-Al.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Antolak-Dudka, A., Krasnowski, M., Gierlotka, S., and Kulik, T. 2016. Nanocrystalline Ni<sub>3</sub>Al-based alloys obtained by recycling of aluminium scraps via mechanical alloying and consolidation. *Advanced Powder Technology*. 27(2), pp. 305-311
- [2]. Asgari, H., Baxter, C., Hosseinkhani K. and Mohammadi, M. 2017. On microstructure and mechanical properties of additively manufactured AlSi10Mg\_200C using recycled powder. *Materials Science & Engineering A*. **707**, pp. 148-158.
- [3]. Bernstock-Kopaczyńska, E. Bednarczyk, I., Jablonska, M., Niewielski, G., and Kuc, D. 2008. The influence of thermo-mechanical treatment on the structure and plasticity of FeAl intermetallic phase-base alloy. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. **VIII(3)**, pp. 15-22..
- [4]. Chiba, R. and Yoshimura, M. 2015. Solid-state recycling of aluminium alloy swarf into c-channel by hot extrusion. *Journal of Manufacturing Processes*. **17**, pp. 1-8.

- [5]. Dong-hua, L., Mao-liang, H., Hai-bo, W., and Wang-an, Z. 2011. Low temperature mechanical property of AZ91D magnesium alloy fabricated by solid recycling process from recycled scraps. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. **21**, pp. 1234-1240
- [6]. D'Angelo, L., D'Onofrio, L., and Gonzalez, G. 2009. Nanophase intermetallic FeAl obtained by sintering after mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*. **483**, pp. 154-158
- [7]. Kant, R., Prakash, U., Agarwala, V., and Prasad, V. V. S. 2015. Wear behaviour of an FeAl intermetallic alloy containing carbon and titanium. *Intermetallics*. **61**, pp. 21-26
- [8]. Lazzaro, G., and Atzori, C. 1992. Recycling of aluminium trimmings by conform process. *Light Metals*, **3**, pp. 1379-1384.
- [9]. Mhadhbi, M., Suñol, J. J., and Khitouni, M. 2013. Influence of heat treatments on the structure of FeAl powders mixture obtained by mechanical alloying. *Physics Procedia*. **40**, pp. 38-44.
- [10]. Mignone, A., Frangini, S., La Barbera, A., and Tassa, O. 1998. High temperature corrosion of B2 iron aluminides. *Corros Sci*, **40**(13), pp. 31-47.
- [11]. Shamsudin, S., Lajis, M. A., and Zhong, Z. W. 2016. Evolutionary in solid state recycling techniques of aluminium: a review. *Procedia CIRP*. **40**, pp. 256-261.